

# 回弹法在水利工程混凝土检测中的应用分析

文 / 徐卓 陕西水利水电工程集团有限公司

陈亚平 陕西水利水电工程集团有限公司

**摘要：**混凝土结构属于水利工程的核心组成部分，水利工程的混凝土结构是否满足最基本的强度要求，直接关系到水利工程的稳定与安全。近些年以来，水利工程混凝土的检测技术手段更加丰富多样，其中的回弹法能够在保证检测数据精准度的基础上节约工程检测成本，充分体现了回弹法应用于混凝土强度测试的良好效果。本文主要探讨水利工程混凝土检测作业中的回弹法原理及其应用方案，为水利工程的可靠运行提供科学数据的支撑。

**关键词：**回弹法；水利工程混凝土检测；技术应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.17.082

## 引言

从水利工程混凝土强度检测的角度分析，引进回弹检测技术手段的宗旨就在于准确判断混凝土的结构缺陷所在，以便于水利工程的施工部门采取有效的整改方案。与传统的水利工程检测形式相比，采用回弹仪测出的水利工程混凝土强度结果更加接近实际情况，从而能够作为水利工程项目施工决策的重要参考。由此可见，如何将回弹检测技术灵活应用于水利工程的混凝土结构检测领域，应作为现阶段水利工程技术创新面临的关键问题。

### 一、回弹法的基本原理

在水利工程的混凝土检测当中采用回弹法，其本质在于借助回弹仪来判断混凝土构件的抗压强度以及表面硬度关系，在实施定量检测的前提下，经过估算得到混凝土结构的抗压性能结论。具体在实施回弹检测的全过程中，回弹仪内部的弹簧装置能够驱动其运作，并且将一定强度的弹性作用力直接传递给敲击锤，然后在混凝土表面形成弹性冲击波。小锤与混凝土表面一旦发生了相互作用，那么回弹仪连接的计算机软件就能够自动识别反射回来的波形长度以及变化幅度，并通过判断弹簧初始长度与反射距离的比例关系，归纳出水利工程混凝土的强度测试结论<sup>[1]</sup>。目前在人工智能软件的辅助下，技术人员还可以利用回弹检测方法来评估混凝土结构的荷载变化趋势，通过汇总相关数据建立动态的曲线图。

依据水利工程混凝土强度检测的技术规范要求，目前多数水利工程的混凝土强度检测回弹仪应当为HT225T型号设备。数字化的回弹仪能够适应水利工程所在地区的自然气候条件，并能够很好满足不同地质条件以及气候条件下的混凝土强度检测要求<sup>[2]</sup>。具体在利用回弹仪测定混凝土的结构强度之前，工作人员首先需要校准仪器设备，将其限定于0℃-35℃的环境温度条件。工作人员还需要确保回弹仪的表面平整且光滑，对于存在毛刺或凹凸情况的回弹仪应当避免予以使用。

如下图，为水利工程混凝土检测中的回弹检测技术原理：

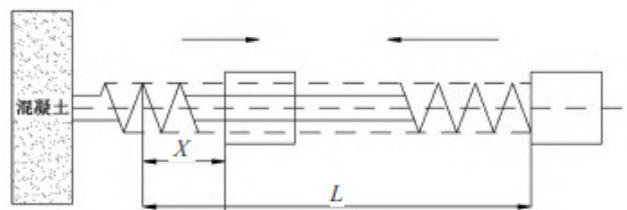


图1：利用回弹法检测水利工程混凝土强度的技术原理图

## 二、水利工程混凝土检测的常见影响因素

### （一）混凝土碳化程度

水利工程的混凝土结构如果发生了碳化现象，那么混凝土的表面强度及其结构强度都将会受到较为明显的影响。在碳化反应的进行过程中，外界空气中的二氧化碳将会与水泥石灰之间发生化学反应，并且促进碳酸盐的大量生成。由于碳化反应导致的影响，水利工程的混凝土结构整体强度将会大幅降低，从而不利于混凝土保持良好的抗压强度<sup>[3]</sup>。碳化反应作用下的钙离子还会大量“抽离”，并且造成混凝土的结构表面出现大量的孔洞，从而更加容易受到空气中的有害物质、酸性气体以及氧气侵蚀。在碳化程度较高的状态下，混凝土的检测回弹值以及表面硬度都会有所增加，从而直接导致了水利工程的结构性能发生改变。

### （二）混凝土龄期

未达到指定龄期的水利工程混凝土结构就会容易发生孔洞、裂缝、渗漏等现象，以上情况均不利于水利工程的稳定性得到长期保持。具体而言，未达到指定养护龄期的混凝土就会呈现出较差的表面结构强度，以至于造成混凝土结构的“从外到内”碳化或者损坏，威胁到水利工程的结构安全<sup>[4]</sup>。因此，水利施工部门需要充分重视混凝土结构的养护管理，确保其满足最基本的养护龄期要求。

### （三）结构件的表面状态

混凝土结构件的表面应当是坚固、光滑且平整的，水利工程的混凝土表面不应当存在任何的裂缝或者气孔。但是在目前的现状下，一部分水利工程的施工人员没有

采取行之有效的混凝土结构保护措施,从而造成混凝土结构的表面出现大范围的渗漏或者孔洞,严重影响到水利工程的正常使用。存在离析现象的混凝土结构还可能引发水利工程的基础沉降事故,而潮湿、粗糙的混凝土结构件表面状态将会影响回弹检测结果的可靠性,对于水利工程的施工方案制定与实施带来一定程度的干扰。

#### (四) 人为施工作业

近些年来,水利工程的施工技术方法更加的丰富多样。水利施工部门能够利用机械化与自动化的混凝土施工方案,以期实现节约工程资源、优化成本效益等目标。但是与此同时,仍然存在一部分的水利施工部门未能充分重视技术手段创新,尤其是在混凝土施工阶段存在振捣不到位等问题。在人为振捣失误的情况下,混凝土结构底部的骨料成分就会过多,因此造成混凝土的表层疏松且干燥,不利于混凝土结构件的强度检测数据达到基本要求<sup>[5]</sup>。存在错误的人为施工操作还有可能造成混凝土出现大面积的离析,导致最终检测结果与实际不符。

### 三、回弹法在水利工程混凝土检测中的应用实例

#### (一) 工程概况

南水北调中线一期工程的XX河渠道倒虹吸施工标段,位于河南省某村镇的东北方向1.2km处,该施工段的总体长度达到980m。其中的水利工程建筑物倒虹吸管身段的水平投影达到892m的长度,进口渐变段与闸室段的总长达到45m,出口闸室与渐变段的总长达到67m。该水利工程的倒虹吸结构主要设计为箱式构造,并设有“三孔一联”的水工建筑主体结构。其中的单孔宽达到6.6m,高度为8.1m,共分为47个管节,混凝土浇筑的施工总量达到9.3万m<sup>3</sup><sup>[6]</sup>。

表1 回弹法应用于水利工程混凝土检测的数据结果

检测编号	设计强度 (MPa)	室内抗压强度 (MPa)	检测偏差 (%)
1	C35	36.7	0.5
2	C40	38.5	0.3
3	C30	35.3	0.3

#### 四、回弹法在水利工程混凝土检测中的应用要点

近些年以来,信息技术工具在水利工程检测领域的应用范围更广,充分展现了回弹法等专业技术手段作用于水利工程检测的意义所在。与人工测量的传统做法相比,依靠自动化与数字化的回弹检测仪器更加能够避免检测数据误差,符合“降本增效”的水利工程检测实施目标。具体而言,在水利工程的混凝土检测过程中引进回弹检测技术,应当充分重视如下的实现要点:

##### (一) 明确技术适用的前提条件

水利工程混凝土检测中的回弹法如果要更好发挥其功能,则最关键的前提就是要明确技术适用条件。当前时期的水利工程混凝土检测技术手段多样,其中最为常用的就是“回弹法”以及“超声回弹检测法”等。基于此,

工程勘察人员通过展开实地勘测,发现该水利工程所在区域的地质环境较为复杂,施工场地存在腐殖土、粉质黏土、砂土等多种地质构造。因此为了确保水利工程的混凝土施工质量满足基本要求,水利施工部门拟采用回弹检测的技术手段予以实施。同时,水利施工部门针对混凝土结构的强度检测以及养护管理工作给予高度的重视,严格遵循“因地制宜”的理念展开工程检测。

##### (二) 检测方案

在上述水利工程的混凝土结构强度检测实践当中,相关部门主要采取回弹仪作为工程检测设备,以期准确判断混凝土结构的抗压强度。基于此,技术人员利用回弹仪在混凝土结构表面进行敲击,并且通过测定回弹波的波形变化来推断混凝土的结构强度是否达标。水利工程的检测人员主要利用计算机软件来记录混凝土结构的回弹测定值,以此为依据推测出水利工程建筑物的抗压强度指标。

具体在上述的水利工程检测实施中,技术人员重点针对50MPa左右抗压强度的混凝土结构进行动态的抗压强度测试,并且借助回弹仪直接得出强度检测结果。上述水利工程的混凝土强度检测回弹仪设计为全自动式,其型号为HT238W,可用于检测35mm左右粒径的水利工程混凝土结构件强度。水利工程的检测部门还通过对比混凝土的室内抗压强度及其设计强度指标,从中归纳得到混凝土强度的变化范围及其规律性,以期为水利工程的安全高效开展打下良好的基础。

如下表,为回弹法应用于水利工程混凝土检测的数据结果:

水利工程的检测管理部门应当结合施工场地的实际情况,并且在充分考虑混凝土龄期、抗压强度、检测数据误差等各项因素的基础上,选取最为适宜的检测技术方法。

明确回弹法在混凝土结构强度检测方面的基本适用条件,工程检测人员应当深入展开现场勘察工作,以此为基准做到全面收集相关的指标数据,从而准确判断混凝土结构所在的空间环境温湿度。技术人员还需要密切重视混凝土的表面碳化、离析、泌水等现象,做到及时察觉混凝土结构的异常因素。水利工程的检测人员在获取回弹值的过程中,关键在于利用计算机软件准确输入相关数据,并需要合理控制回弹检测的测点距离。

如下表,为“超声回弹检测法”与“回弹法”在水利工程混凝土强度检测方面的适用条件差异:

表 2 “超声回弹检测法”与“回弹法”的适用条件差异

检测方法	检测环境	构件抗压强度 (MPa)	混凝土龄期 (d)	检测准确度 (%)
回弹法	-5℃ -35℃	15-45	10-600	98 以上
超声回弹检测法	0℃ -40℃	10-60	未明确	99 以上

**(二) 结合采用多种检测手段**

在当前时期的水利工程发展趋势下，水利工程混凝土结构的安全隐患更为复杂，因此决定了工程检测部门应当结合采用多种检测手段，在专门仪器的辅助下获得精准且全面的检测数据结果。例如，“超声回弹检测法”旨在利用超声波仪器来判断混凝土介质内部的传播速度及其波形幅度变化，并且结合“长波速度公式”来计算混凝土结构的泊松比。基于此，水利工程的检测部门应密切重视回弹检测方法以及其他检测技术手段的有机结合，以期达到降低检测成本的目的。

例如在某大型水利工程的混凝土结构检测实施中，工程检测人员考虑到混凝土坝体结构存在诸多的安全隐患因素，因此决定采用“超声回弹检测法”为主的检测技术方案。技术人员将超声回弹设备连接于计算机软件，从而使得超声波的传导情况得到动态化的反馈，有助于工程检测人员直观把握混凝土介质的缺陷因素。该水利工程的检测部门还充分利用了自动化的回弹仪器，经过推断得出混凝土结构的表面缺陷形成部位，并采取及时有效的干预解决措施。

如下图，为“超声回弹检测法”的技术实施原理：

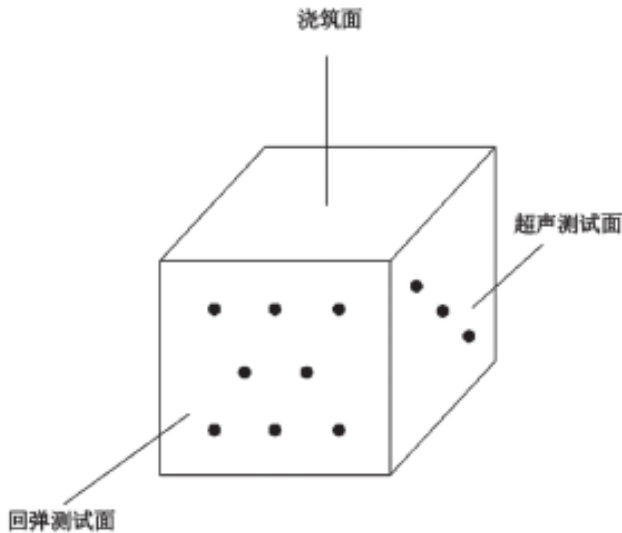


图 2：“超声回弹检测法”的技术原理图

**(三) 合理布置测区与测点**

水利工程的混凝土结构检测不能够缺少科学合理的测区与测点布置，水利工程的检测部门应当充分重视混凝土强度检测过程中的测区选择，并需要结合实际情况来调整测点所在的位置。按照水利工程混凝土检测规范的基本要求，采用回弹法测试混凝土强度的测区面积应

控制在 0.05 m<sup>2</sup> 以内，并且需要限定在 1.8m 以内的相邻测区最大间距。与此同时，混凝土构件的检测区域与施工缝的边缘部位至少需要保持 0.3m 的距离。

此外，水利工程的检测人员应当将回弹检测区域布置在混凝土构件的强度薄弱部位，尤其是容易发生裂缝与离析等脆弱部位。具体在确定混凝土的回弹检测区域及点位之前，至少应当由两名以上的工程测量人员深入现场展开勘测工作，从而做到准确把握混凝土测区的地质条件因素。技术人员还需要确保混凝土回弹检测范围内的各测点分布均匀，并且需要限定在 15mm 以上的相邻测点间隔距离，各个测点都需要经过至少一次的回弹检测操作。

**结语**

综上所述，水利工程的混凝土结构检测不能够缺少回弹法作为保障，采用回弹法测定水利工程的混凝土强度主要包括前期准备工作、回弹值的判断、计算混凝土的碳化深度等。在目前的现状下，水利工程混凝土检测的影响因素更加复杂，因此决定了水利施工部门应采用行之有效的技术改进方案，在结合不同检测技术的基础上予以应对。合理完善水利工程的混凝土检测技术方法，还应当体现在优化资源配置、定期校正与维护仪器设施等。水利工程的检测技术人员应具备良好的综合素养，在工程检测的实践当中不断积累经验，增进相关工序人员之间的配合与协调。

**参考文献**

[1] 汪婧献, 王丽, 沈勇. 超声波激励下水利工程混凝土构件裂纹检测方法研究 [J]. 水上安全, 2025 (05): 109-111.

[2] 何远鹏, 颜少莲, 古今用. 钻孔取芯法在水库工程实体质量检测中的应用研究 [J]. 水上安全, 2025 (04): 127-129.

[3] 韩文斌. 大型水利工程施工中混凝土大坝活动裂纹检测方法 [J]. 水上安全, 2025 (01): 103-105.

[4] 刘剑峰. 回弹法在水利工程混凝土实体检测中的应用研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 9 (19): 82-84.

[5] 戴镜元. 超声横波反射法在水利工程混凝土检测中的应用 [J]. 水利技术监督, 2024 (01): 210-213+229.

[6] 刘康, 蔡一平, 彭志芳. 回弹法和超声回弹综合法在水利工程混凝土强度检测中的应用 [J]. 中国高科技, 2024 (01): 59-61.

作者简介：徐卓，男，1985.9，汉，陕西省渭南市华州区，本科，助理工程师，研究方向为水工试验。